



**MEHR  
ERFAHREN**

**Chemie-KOMPAKT**

Oberstufe

**STARK**

# Inhalt



Vorwort

## Chemische Thermodynamik

<b>1 Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen</b> .....	1
1.1 Formen der Energieumwandlung .....	1
1.2 Von der inneren Energie zum Ersten Hauptsatz der Thermodynamik .....	2
1.3 Arbeit und Wärme – Reaktionsenergie und Reaktionsenthalpie .....	3
<b>2 Experimentelle Ermittlung und Berechnung der   Volumenarbeit</b> .....	5
<b>3 Experimentelle Ermittlung und Berechnung der   Reaktionsenthalpie</b> .....	6
3.1 Die Grundgleichung der Kalorimetrie .....	6
3.2 Ermittlung von Lösungsenthalpien .....	9
3.3 Ermittlung von Reaktionsenthalpien mit dem Satz von HESS .....	10
<b>4 Entropie und Freie Enthalpie – Richtung   chemischer Prozesse</b> .....	12
4.1 Entropie – ein Maß für die Unordnung .....	12
4.2 Freie Enthalpie – GIBBS-HELMHOLTZ-Gleichung .....	14


## Reaktionskinetik und chemisches Gleichgewicht

<b>1 Reaktionsgeschwindigkeit</b> .....	16
1.1 Definition der Reaktionsgeschwindigkeit .....	16
1.2 Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit .....	17
1.3 Experimentelle Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit .....	18
<b>2 Aktivierungsenergie</b> .....	19
<b>3 Katalysatoren – Beschleuniger chemischer Reaktionen</b> .....	20
<b>4 Grundlagen des chemischen Gleichgewichts</b> .....	22

4.1	Wesen des chemischen Gleichgewichts .....	22
4.2	Das Massenwirkungsgesetz – quantitative Beschreibung des chemischen Gleichgewichts .....	23
4.3	Das Prinzip des kleinsten Zwangs – Veränderung der Gleichgewichtslage .....	24
<b>5</b>	<b>Säure-Base-Gleichgewichte .....</b>	<b>27</b>
5.1	Historische Entwicklung der Begriffe Säure und Base .....	27
5.2	Säure-Base-Theorien .....	27
5.3	Konzentration und pH-Wert .....	29
5.4	Stärke von Säuren und Basen .....	31
5.5	pH-Wert-Berechnungen .....	33
5.6	Protolyse wässriger Salzlösungen .....	35
	5.7 Pufferlösungen .....	36
	5.8 Indikatoren .....	38
	5.9 Säure-Base-Titrationen .....	39
<b>6</b>	<b>Löslichkeitsgleichgewichte .....</b>	<b>43</b>
6.1	Löslichkeit und Löslichkeitsprodukte .....	43
6.2	Beeinflussung der Löslichkeit .....	44
6.3	Fraktionierte Fällung .....	45
6.4	Fällungstitration .....	46

## Redoxreaktionen und Elektrochemie

<b>1</b>	<b>Redoxreaktionen .....</b>	<b>47</b>
1.1	Redoxreaktionen als Elektronenübergänge .....	47
1.2	Oxidationszahlen – ein Hilfsmittel zum Erkennen von Redoxreaktionen .....	48
1.3	Beispiele für Redoxreaktionen anorganischer Verbindungen .....	49
1.4	Beispiele für Redoxreaktionen organischer Verbindungen .....	52
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Elektrochemie .....</b>	<b>53</b>
2.1	Elektrolyte und elektrische Leitfähigkeit .....	53
2.2	Das Elektrodenpotenzial .....	55
2.3	Quantitative Beschreibung des Elektrodenpotenzials – Die NERNST'sche Gleichung .....	57
<b>3</b>	<b>Freiwillig verlaufende elektrochemische Reaktionen .....</b>	<b>57</b>
3.1	Galvanische Zellen .....	57

3.2	Die elektrochemische Spannungsreihe .....	59
3.3	Anwendung galvanischer Zellen in pH-Einstabmessketten .....	60
3.4	Bau und Funktion einiger Batterien .....	61
3.5	Bau und Funktion einiger Akkumulatoren .....	63
3.6	Bau und Funktion von Brennstoffzellen .....	65
3.7	Korrosion – eine unerwünschte Redoxreaktion .....	65
3.8	Korrosionsschutz – Maßnahmen zum Erhalt wertvoller Werkstoffe .....	67
<b>4</b>	<b>Elektrolysen – erzwungene Redoxreaktionen .....</b>	<b>69</b>
	4.1 Grundlagen der Elektrolyse .....	69
	4.2 FARADAY'sche Gesetze .....	71
	4.3 Technische Anwendungen von Elektrolysen .....	72

## Kohlenwasserstoffe – zwei Elemente, viele Verbindungen

<b>1</b>	<b>Organische Chemie:</b>	
	Chemie des Lebens und des Kohlenstoffs .....	76
<b>2</b>	<b>Alkane: gesättigte Kohlenwasserstoffe .....</b>	<b>78</b>
2.1	Die homologe Reihe: Methan, Ethan, Propan & Co. ....	78
2.2	Molekülbau: vierbindig und tetraedisch .....	79
2.3	Isomerie: von Alkanen und iso-Alkanen .....	79
2.4	Nomenklaturregeln: Benennung nach IUPAC .....	81
2.5	Eigenschaften der Alkane: gänzlich unpolar .....	82
2.6	Reaktionen der Alkane: eher reaktionsträge .....	83
<b>3</b>	<b>Alkene: Moleküle mit Doppelbindung .....</b>	<b>86</b>
3.1	Homologe Reihe und Nomenklatur der Alkene .....	86
3.2	Molekülbau: planar an der Doppelbindung .....	86
3.3	Isomerie: keine freie Drehbarkeit .....	87
3.4	Nomenklaturregeln für „-en-Verbindungen“ .....	88
3.5	Eigenschaften und Reaktionen: elektrophile Addition .....	88
<b>4</b>	<b>Alkine: dreifach verbundene Kohlenstoffatome .....</b>	<b>91</b>


## Sauerstoff und Stickstoff in organischen Molekülen

<b>1 Alkanole: organische Verwandte des Wassers</b> .....	92
1.1 Homologe Reihe und Nomenklatur: die Hydroxylgruppe ...	92
1.2 Isomerie und Klassifizierung: Stellung und Wertigkeit .....	92
1.3 Molekülbau der Alkanole: Dipolcharakter .....	93
1.4 Einwertige Alkanole: Prototyp Ethanol .....	94
1.5 Sekundäre und tertiäre Alkanole .....	95
1.6 Mehrwertige Alkanole: Polyalkohole .....	95
1.7 Synthese aus Halogenalkanen: nucleophile Substitution ...	96
1.8 Alkanol-Eigenschaften: Wasserstoffbrückenbindungen ....	97
1.9 Reaktionen der Alkanole: wichtige Oxidationsprodukte ....	99
<b>2 Carbonylverbindungen</b> .....	103
2.1 Die Carbonylgruppe als gemeinsames Strukturmerkmal ...	103
2.2 Carbonylverbindungen Typ I: Alkanale .....	104
2.3 Carbonylverbindungen Typ II: Alkanone .....	108
<b>3 Carbonsäuren und ihre Derivate</b> .....	110
3.1 Die Carboxylgruppe und der Säurecharakter .....	110
3.2 Nomenklatur: Trivial- und IUPAC-Namen .....	111
3.3 Homologe Reihe: Essigsäure und andere Bekannte .....	112
3.4 Klassifizierung: die Vielfalt organischer Säuren .....	112
3.5 Eigenschaften: flüchtig oder fest, stark oder schwach sauer ...	113
3.6 Reaktionen: typisch Säure und der Weg zum Ester .....	119
3.7 Carbonsäureester und Lactone: Fette, Aromen, Vitamine .....	122
3.8 Carbonsäurechloride: Reaktionsfreudig und nützlich .....	122
3.9 Carbonsäureamide und Lactame .....	123
<b>4 Ether: Moleküle mit Sauerstoffbrücke</b> .....	124
4.1 Dialkylderivate des Wassers: symmetrisch oder nicht .....	124
4.2 Nomenklatur der Ether: Alkoxy-Derivate .....	125
4.3 Ether-Eigenschaften: narkotisierend und explosiv .....	125
4.4 Ether-Synthesen .....	126
<b>5 Organische Moleküle mit Stickstoff</b> .....	126
5.1 Überblick .....	126
5.2 Amine: Alkylderivate des Ammoniaks .....	127
5.3 Proteogene Aminosäuren als Proteinbildner .....	129
5.4 Aminosäuren als Ammoniumcarboxylate .....	131
5.5 Aminosäuren als Ampholyte .....	132

## Aromatische Verbindungen – Benzol und seine Verwandten

<b>1 Benzol &amp; Co.</b> .....	133
1.1 Benzol und der aromatische Zustand: Mesomerie statt KEKULÉ .....	133
1.2 Kriterien für aromatische Verbindungen: HÜCKEL-Regel ....	136
1.3 Klassifizierung aromatischer Verbindungen .....	137
1.4 Benzolderivate: ortho-, meta-, para- .....	137
1.5 Phenol: ein aromatischer Alkohol .....	139
1.6 Anilin: ein aromatisches Amin .....	140
<b>2 Aromaten und ihre Reaktionen: Substitution bevorzugt</b> .....	141
2.1 Reaktionen der Aromaten: elektrophile Substitution .....	141
2.2 Mechanismus der S <sub>E</sub> -Reaktion: Beispiel Halogenierung .....	141
2.3 Nitrierung: der Weg zum Nitrobenzol .....	143
2.4 Aktivierend und dirigierend: Zweitsubstitution am Ring ....	144
2.5 Oxidationen und Reduktionen: alles wie gehabt .....	146
2.6 Nucleophile Substitution: bei Aromaten ziemlich selten ...	147

## Naturstoffe – Baupläne der Biomoleküle

<b>1 Isomeriephänomene: die Vielfalt der Biomoleküle</b> .....	148
1.1 Das Leben und die Stereochemie .....	148
1.2 Konstitution, Konfiguration, Konformation .....	149
1.3 Enantiomere und Diastereomere .....	153
<b>2 Proteine: Bausteine des Lebens</b> .....	155
2.1 Bedeutung der Proteine .....	155
2.2 Aminosäuren: die Proteinbausteine .....	156
2.3 Die Peptidbindung: eine ganz besondere Bindung .....	157
2.4 Die Proteinstruktur: Helix, Faltblatt, Wollknäuel .....	159
2.5 Denaturierung: Strukturverlust – Funktionsverlust .....	163
2.6 Nachweisreaktionen für Proteine .....	163
2.7 Chromatografie – eine spezielle analytische Methode .....	163
 2.8 Enzyme .....	165
<b>3 Kohlenhydrate: Zucker, Stärke, Cellulose</b> .....	169
3.1 Klassifizierung: mono-, di-, oligo- und poly- .....	169
3.2 Monosaccharide: FISCHER-Projektionsformeln .....	170
3.3 Ringform der Monosaccharide: HAWORTH-Projektion .....	173



3.4	Mutarotation, Glycosidbildung, Isomerisierung .....	176
3.5	Disaccharide: Kondensation, Hydrolyse und Nachweis .....	180
3.6	Polysaccharide: Cellulose, Amylose, Amylopektin .....	184
<b>4</b>	<b>Fette: Speicher- und Strukturstoffe .....</b>	<b>187</b>
4.1	Fett: Lipid und Glycerid .....	187
4.2	Bedeutung der Fette: Energiespeicher und Lösungsmittel ..	187
4.3	Chemischer Aufbau: Fette sind Tri-Acylglyceride .....	188
4.4	Reaktionen der Fette .....	191

## Kunststoffe, Farbstoffe und waschaktive Stoffe

<b>1</b>	<b>Kunststoffe: Makromoleküle aus dem Labor .....</b>	<b>193</b>
1.1	Prinzipien des Aufbaus und Eigenschaften .....	193
1.2	Klassifizierung: Bauprinzip und thermisches Verhalten .....	194
1.3	Polymerisation: Massenkunststoffe im Alltag .....	195
1.4	Polykondensation: Polyamide und Polyester .....	197
1.5	Polyaddition: Polyurethan-Schaumstoffe .....	200
1.6	Naturkautschuk: Polymerisation und Vulkanisation .....	201
1.7	Altkunststoffe: Wiederverwerten oder Verbrennen? .....	201
<b>2</b>	<b>Farbstoffe machen unser Leben bunt .....</b>	<b>203</b>
2.1	„Farben sind das Lächeln der Natur“ .....	203
2.2	Farbigkeit: Absorption und Emission von Licht .....	203
2.3	Einteilung der Farbmittel: Farbstoffe und Pigmente .....	205
2.4	Strukturelle Voraussetzung der Farbigkeit: push and pull ...	206
2.5	Farbbestimmende Strukturmerkmale: Bindungsausgleich ...	208
2.6	Farbstoffklassen: Klassifizierung nach Chromophoren .....	211
2.7	Wichtige Farbstoffgruppen: Gruppierung nach Färbetechnik .....	212
2.8	Textilfarbstoffe und ihre Fasern .....	213
2.9	Azofarbstoffe: Diazotierung und Azokupplung .....	214
<b>3</b>	<b>Tenside und Waschmittel: Seife &amp; Co. ....</b>	<b>215</b>
3.1	Tenside, Detergenzien, Surfactants, Syndets .....	215
3.2	Seife: Prototyp einer waschaktiven Substanz .....	216
3.3	Amphipathischer Bau: „Sowohl-als-Auch“ der Polarität ....	217
3.4	Seife gegen Schmutz: Was eine WAS können muss .....	218
3.5	Nachteile der Seifen: nicht mit allen Wassern gewaschen ..	220
3.6	Künstliche Tenside: Seifenersatz in vier Klassen .....	220
3.7	LAS und ABS dominieren in Waschmitteln .....	222

**Autoren:** Gerald Kiefer, Steffen Schäfer

**Hinweis:**

Die entsprechend gekennzeichneten Kapitel enthalten ein **Lernvideo**. An den jeweiligen Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, den Sie mithilfe Ihres Smartphones oder Tablets scannen können.



Im Hinblick auf eine eventuelle Begrenzung des Datenvolumens wird empfohlen, dass Sie sich beim Ansehen der Videos im WLAN befinden. Haben Sie keine Möglichkeit, den QR-Code zu scannen, finden Sie die Lernvideos auch unter:



# Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

dieser Band bietet Ihnen eine komprimierte, gleichzeitig vollständige und leicht nachvollziehbare Darstellung des **prüfungsrelevanten Unterrichtsstoffes** der Chemie. Das Buch eignet sich daher sowohl ausgezeichnet für den Schulalltag, parallel zu Ihren persönlichen Aufzeichnungen, als auch zur effektiven Vorbereitung auf Klausuren und das Abitur.

- Alle relevanten Fakten und Zusammenhänge stehen Ihnen damit **schnell und übersichtlich** zur Verfügung.
- Wichtige **Fachbegriffe** sind **farbig** hervorgehoben.
- Die Inhalte werden durch zahlreiche verständliche und schnell erfassbare **Grafiken, Diagramme und Schemata** veranschaulicht.
- Das **umfangreiche Stichwortverzeichnis** ermöglicht Ihnen die gezielte Suche nach bestimmten Begriffen und Inhalten.
- **Querverweise** erleichtern das Auffinden von themenübergreifenden und vertiefenden Darstellungen.

Zu ausgewählten Themen gibt es **Lernvideos**, in denen wichtige chemische Zusammenhänge dargestellt werden. An den entsprechenden Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, den Sie mithilfe Ihres Smartphones oder Tablets scannen können.



Eine Zusammenstellung aller Videos ist über den nebenstehenden QR-Code abrufbar.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg bei der Arbeit mit diesem Buch und bei der Anwendung Ihres Wissens in allen Prüfungen.



Gerald Kiefer



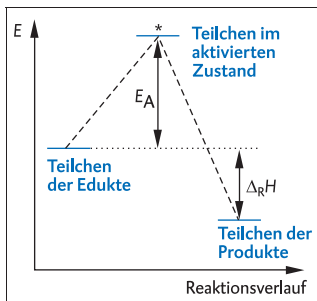
Steffen Schäfer



## 2 Aktivierungsenergie

Nicht jede exotherm und unter Entropiezunahme verlaufende chemische Reaktion kommt spontan in Gang. Eine Erklärung dafür liefert die **Theorie des aktivierten Komplexes**.

Die zu Beginn einer chemischen Reaktion vorliegenden Edukte werden durch die Zufuhr von Energie in einen aktivierten Komplex überführt. Die Bindungen in den Teilchen der Edukte werden gelockert, neue Wechselwirkungen entstehen; dieser aktivierte Komplex stellt einen Übergangszustand im Reaktionsverlauf dar. Durch das Ausbilden neuer Bindungen entstehen die Produkte, deren Energie wieder geringer ist.



Die **Aktivierungsenergie  $E_A$**  ist die notwendige Mindestenergie, die man den Stoffen zuführen muss, damit sie reagieren.

Die jedem einzelnen Teilchen zuzuführende Aktivierungsenergie ist die **molekulare Aktivierungsenergie  $\varepsilon$** . Aus dem Produkt der molekularen Aktivierungsenergie und der Avogadrokonstante ergibt sich die **molare Aktivierungsenergie  $E_A$** :

$$E_A = \varepsilon \cdot N_A \quad [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}]$$

### ARRHENIUS-Gleichung

Die Abhängigkeit der Geschwindigkeitskonstanten  $k$  (und damit der Reaktionsgeschwindigkeit) von der Temperatur wird in der Arrhenius-Gleichung beschrieben. Der schwedische Chemiker Svante ARRHENIUS (1859–1927) stellte eine lineare Abhängigkeit zwischen dem natürlichen Logarithmus der Geschwindigkeitskonstanten und dem Reziprokan der Temperatur fest und fand den Proportionalitätsfaktor  $-E_A \cdot R^{-1}$ . Das Ergebnis ist die nach ihm benannte **ARRHENIUS-Gleichung**:

$$k = e^{-\frac{E_A}{R \cdot T}}$$

$R$  allgemeine Gaskonstante ( $8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )  
 $E_A$  Aktivierungsenergie  
 $e = 2,718$

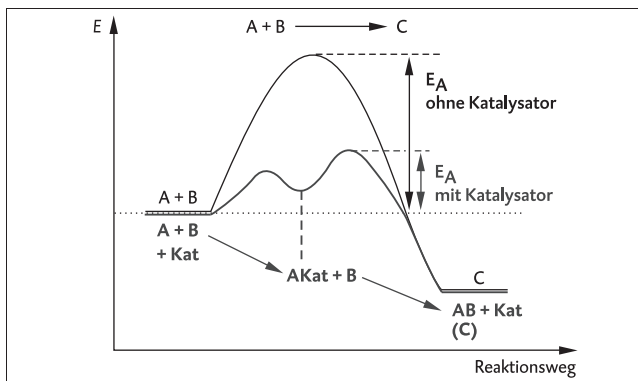
An dieser Gleichung ist folgendes erkennbar:

- Je höher die Temperatur desto größer ist die Geschwindigkeitskonstante.
- Je höher die Aktivierungsenergie desto kleiner ist die Geschwindigkeitskonstante.
- Die Geschwindigkeit einer Reaktion mit hoher Aktivierungsenergie ist stark temperaturabhängig.
- Eine niedrige Aktivierungsenergie führt zu einer geringen Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit.

### 3 Katalysatoren – Beschleuniger chemischer Reaktionen

Manche chemischen Reaktionen verlaufen auch bei höherer Temperatur nur mit sehr geringer Geschwindigkeit. Bei einigen Reaktionen ist eine Temperaturerhöhung gar nicht möglich, da sich die Ausgangsstoffe bei höheren Temperaturen zersetzen, wie z. B. viele organische Stoffe. Die Lösung dieser Probleme gelingt durch den Einsatz von **Katalysatoren**.

**Katalysatoren** sind Stoffe, die die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion stark erhöhen.



Senkung der Aktivierungsenergie mit einem Katalysator

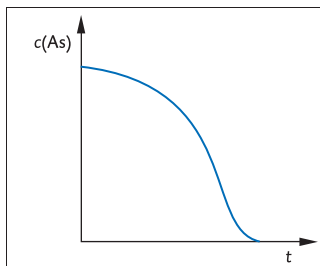
Die grafische Darstellung verdeutlicht typische Eigenschaften von Katalysatoren:

- Katalysatoren verringern die Aktivierungsenergie einer chemischen Reaktion.
- Katalysatoren nehmen unter Bildung instabiler Zwischenprodukte an der Reaktion teil.
- Nach der chemischen Reaktion liegt der Katalysator unverändert vor; er ist somit wiederverwendbar.

Katalysatoren wirken außerdem selektiv, d. h., dass von mehreren chemischen Reaktionen, die mit den eingesetzten Ausgangsstoffen möglich sind, nur eine katalysiert wird.

homogene Katalyse	heterogene Katalyse
Katalysator und Edukte liegen in gleicher Phase vor (z. B. beide im gleichen Aggregatzustand oder gelöst im gleichen Lösungsmittel)	Katalysator und Edukte liegen in unterschiedlichen Phasen (Aggregatzuständen) vor (z. B. fester Katalysator und gasförmige Edukte)
<b>Beispiele</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• säurekatalysierte Bildung von Halbacetalen und Acetalen</li> <li>• Polyethylensynthese mit <math>\text{TiCl}_4</math> und <math>\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ammoniak-Synthese mit Eisenoxid-Katalysator</li> <li>• Autoabgasreinigung mit Pt/Rh-Katalysator</li> </ul>

Bei manchen chemischen Reaktionen hat ein Produkt die Eigenschaft auf die Reaktion katalytisch zu wirken; d.h. der Katalysator bildet sich im Laufe der Reaktion selbst. Dieser Vorgang heißt **Autokatalyse**. Bei diesen Reaktionen nimmt die Geschwindigkeit der Reaktion im Reaktionsverlauf zu.



Reaktionsgeschwindigkeit bei Autokatalyse

Eine besondere Rolle kommt Katalysatoren in lebenden Systemen zu. Diese Biokatalysatoren werden als **Enzyme** (siehe S. 165) bezeichnet. Mit bestimmten Stoffen bilden Katalysatoren sehr stabile Verbindun-



## 4 Fette: Speicher- und Strukturstoffe

### 4.1 Fett: Lipid und Glycerid

Die umgangs- und fachsprachlichen Begriffe Fett und Öl, Wachs und Lipid, Lipoid und Glycerid sind nicht klar voneinander abgegrenzt. Es ist hilfreich, klare Begriffsbestimmungen zur chemischen Klassifizierung der entsprechenden Substanzen zu treffen. Die gängigste und knappste Definition für Fette lautet: Fette sind **Ester** aus **Glycerin** und **Fettsäuren**. Fettsäuren sind langkettige Carbonsäuren. Noch exakter ist die folgende Formulierung:

**Fette** sind **Tri-Carbonsäureester** des dreiwertigen Alkanols **Glycerin** (1,2,3-Propantriol). Nur **Tri-Acylglyceride** sind Fette.

Der Begriff **Glycerid** bedeutet „Ester des Glycerins“, fasst also Mono-, Di- und Triester zusammen. Schließlich lassen sich Fette durch ihren festen Aggregatzustand von den flüssigen Ölen abgrenzen:

**Fette** sind Tri-Carbonsäureester des Glycerins, die bei Raumtemperatur als **Feststoffe** vorliegen. **Öle** sind **flüssige**, hochviskose Fettsäureester.

**Wachse** als „natürliche fettähnliche Stoffe“ sind Ester sehr langkettiger Carbonsäuren („Wachssäuren“) mit langkettigen Alkanolen („Wachsalkoholen“). **Lipide** sind alle hinsichtlich Löslichkeit und Aufbau fettähnlichen Substanzen. Die wasserunlöslichen Lipide lassen sich durch wenig polare organische Lösungsmittel, z. B. durch Diethylether, aus Zellen extrahieren. Zu den Lipiden zählen unter anderem die Steroide, z. B. Cholesterin, die Carotinoide, z. B.  $\beta$ -Carotin, und die Terpene, z. B. Menthol. Diese Stoffe werden in Abgrenzung zu den „echten Fetten“, die chemisch Triglyceride sind, als **Lipoide** zusammengefasst. Fette und Lipoide bilden zusammen die Gruppe der Lipide.

### 4.2 Bedeutung der Fette: Energiespeicher und Lösungsmittel

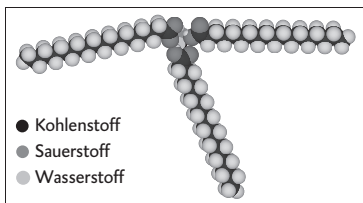
Der physiologische Brennwert von Fett ist mit ca.  $40 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  doppelt so hoch wie der Brennwert von Eiweißen oder Kohlenhydraten. Fette stellen damit einen **Speicherstoff** und eine wichtige **Energiereserve** dar (z. B. Depotfett bei Winterschläfern).

Fettähnliche Stoffe wie Lecithin sind Hauptbestandteil der Zellmembran, also wichtige **Baustoffe** und **Strukturbestandteile** der Zellen. Zur Fettbiosynthese sind **essenzielle Fettsäuren** notwendig. Das sind mehrfach ungesättigte Fettsäuren wie Linolsäure, die der menschliche Organismus nicht selbst synthetisieren kann. Die lebenswichtigen, ebenfalls essenziellen **Vitamine** A, D und E sind fettlöslich. Auch viele **Umweltgifte** wie DDT sind fettlöslich und werden im Fettgewebe von Organismen gespeichert. Da sie als wasserunlösliche Substanzen nicht ausgeschieden werden können, kommt es zur **Anreicherung in der Nahrungskette** und höchsten Konzentrationen bei den Endkonsumenten wie dem Menschen.

### 4.3 Chemischer Aufbau: Fette sind Tri-Acylglyceride

Natürlich vorkommende Fette sind keine Reinstoffe, sondern **Gemische** aus unterschiedlichen Triacylglyceriden. Der Baustein Glycerin ist in jedem Fettmolekül mit drei Fettsäuren verestert.

**Feste Fette** enthalten mehr langkettige und/oder mehr **gesättigte** Fettsäuren. **Flüssige Fette** hingegen sind reich an **ungesättigten Fettsäuren** und/oder kurzkettigen Fettsäuren.

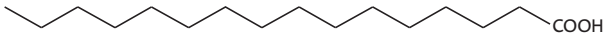
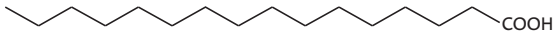
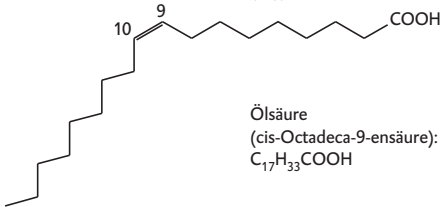
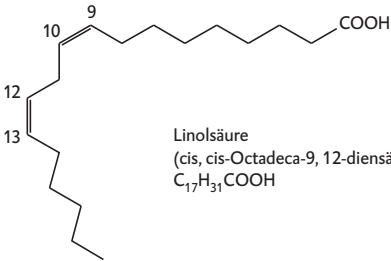
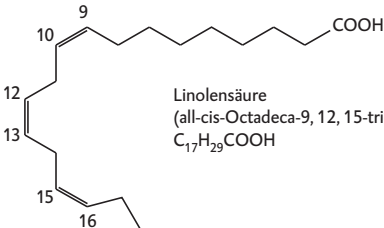


Fettmolekül im Kalottenmodell

Ester sind Verbindungen, die durch Kondensationsreaktionen aus Alkoholen und (Carbon-)Säuren entstehen (siehe S. 120). Die Alkohol-Komponente in Fetten ist immer 1,2,3-Propantriol (Glycerin). Als Carbonsäure-Komponenten können die verschiedensten **längerkettigen Carbonsäuren** auftreten. In natürlichen Fetten kommen nur Fettsäuren mit gerader Anzahl an Kohlenstoffatomen vor. **Gesättigte** Fettsäuren enthalten ausschließlich C–C-Einfachbindungen. Eine Fettsäure mit Doppelbindung wird **ungesättigte Fettsäure**, eine mit mehreren Doppelbindungen **mehrfach ungesättigte Fettsäure** genannt.



## Wichtige gesättigte und ungesättigte Fettsäuren im Überblick:

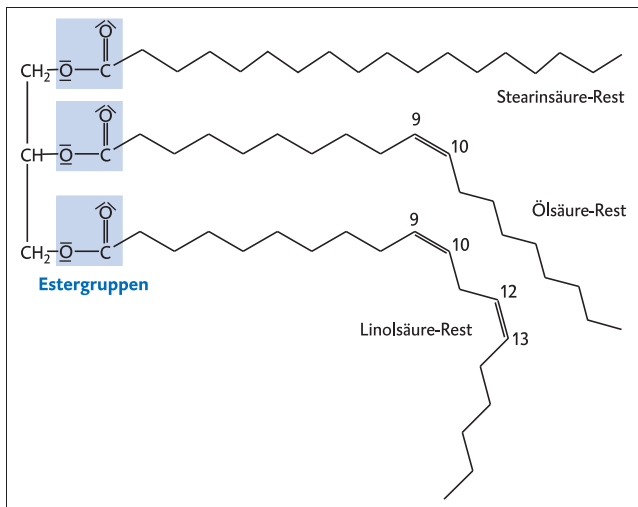
Palmitinsäure (Hexadecansäure):  $C_{15}H_{31}COOH$ Stearinsäure (Octadecansäure):  $C_{17}H_{35}COOH$ Ölsäure  
(cis-Octadeca-9-ensäure):  
 $C_{17}H_{33}COOH$ Linolsäure  
(cis, cis-Octadeca-9, 12-diensäure):  
 $C_{17}H_{31}COOH$ Linolensäure  
(all-cis-Octadeca-9, 12, 15-triensäure):  
 $C_{17}H_{29}COOH$ 

Ungesättigte Fettsäuren sind von ölig-flüssiger Konsistenz, gesättigte Fettsäuren sind wachsartige Feststoffe. Der Unterschied in den Stoff-

eigenschaften lässt sich mit den unterschiedlichen **Molekülstrukturen** erklären: Die durch die *cis*-Anordnung an den Doppelbindungen auftretende starren „Knicke“ und die dadurch „sperrigen“ Molekülketten verhindern eine parallele Anordnung der Fettsäuremoleküle. Die Ausbildung von **van-der-Waals-Kräften** zwischen den unpolaren Alkylresten ist damit erschwert und der intermolekulare Zusammenhang relativ schwach. Niedrigere Schmelztemperaturen sind die Folge.

Die unterschiedliche Konsistenz von Glycerinestern dieser Fettsäuren – Fetten wie Ölen – ist in völlig analoger Weise zu erklären. Öle besitzen einen höheren Anteil (mehrfach) **ungesättigter Fettsäuren**. So haben beispielsweise Butter und Schweineschmalz ihren **Schmelzbereich** bei ca. +30 °C. Olivenöl hingegen ist noch bei 0 °C, Sonnenblumenöl noch bei –10 °C flüssig. Als Prinzip lässt sich formulieren: Je höher der Anteil ungesättigter Fettsäuren in einem Fett ist, umso niedriger liegt sein Schmelzbereich.

Beim im Folgenden dargestellten Fettmolekül handelt es sich um einen **Stearinsäure-Ölsäure-Linolsäure-Glycerinester**. Die drei markierten Estergruppen entstehen durch Kondensation und können durch Hydrolyse wieder gespalten werden.





© **STARK Verlag**

[www.stark-verlag.de](http://www.stark-verlag.de)  
[info@stark-verlag.de](mailto:info@stark-verlag.de)

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.

**STARK**